



日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                      2 0 0 3 年    2 月 2 5 日  
Date of Application:

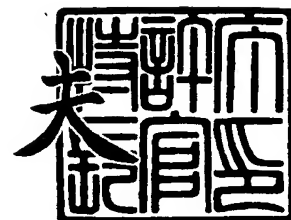
出 願 番 号                      特 願 2 0 0 3 - 0 4 7 1 4 0  
Application Number:  
[ST. 10/C] :                      [ J P 2 0 0 3 - 0 4 7 1 4 0 ]

出      願      人                      アルプス電気株式会社  
Applicant(s):

2 0 0 3 年    8 月 1 4 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康



出証番号    出証特 2 0 0 3 - 3 0 6 6 0 5 1

【書類名】 特許願

【整理番号】 AB02046

【提出日】 平成15年 2月25日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 1/02

【発明の名称】 光偏向素子及びそれを用いた光スイッチ

【請求項の数】 7

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町 1 番 7 号 アルプス電気株式会社  
社内

【氏名】 北川 均

【特許出願人】

【識別番号】 000010098

【氏名又は名称】 アルプス電気株式会社

【代理人】

【識別番号】 100064908

【弁理士】

【氏名又は名称】 志賀 正武

【選任した代理人】

【識別番号】 100108578

【弁理士】

【氏名又は名称】 高橋 詔男

【選任した代理人】

【識別番号】 100089037

【弁理士】

【氏名又は名称】 渡邊 隆



## 【選任した代理人】

【識別番号】 100101465

【弁理士】

【氏名又は名称】 青山 正和

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100094400

【弁理士】

【氏名又は名称】 鈴木 三義

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100107836

【弁理士】

【氏名又は名称】 西 和哉

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100108453

【弁理士】

【氏名又は名称】 村山 靖彦

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008707

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9704956

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光偏向素子及びそれを用いた光スイッチ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 印加する電界を制御して材料の屈折率を変化させることにより外部から入射させた光に対する屈折角を制御可能で、前記材料の単位屈折率変化に対する前記屈折角の変化が  $10^3$  度以上である電気光学フォトニック結晶から構成されたことを特徴とする光偏向素子。

【請求項 2】 前記電気光学フォトニック結晶は、誘電率を電界で制御できる誘電率電界変化型物質である第 1 の誘電体部材と、前記第 1 の誘電体部材とは誘電率が異なる第 2 の誘電体部材とからなり、前記第 1 あるいは第 2 のどちらか一方の誘電体部材が複数相互に離間して周期的に配置され、他方の誘電体部材が前記周期的な配置の間隙部に設けられており、前記第 1 の誘電体部材は  $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、 $\text{BaTiO}_3$ 、 $\text{GaAs}$ 、 $\text{ZnO}$ 、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$  のうちから選択される 1 種からなることを特徴とする請求項 1 記載の光偏向素子。

【請求項 3】 前記第 1 の誘電体部材中に前記第 2 の誘電体部材としての空気の存在する領域が複数相互に離間して周期的に配置されていることを特徴とする請求項 2 記載の光偏向素子。

【請求項 4】 前記第 1 の誘電体部材は複数相互に離間して周期的に配置されたものであり、前記周期的な配置の間隙部に前記第 2 の誘電体部材としての空気の存在する領域が設けられていることを特徴とする請求項 2 記載の光偏向素子。

【請求項 5】 前記電気光学フォトニック結晶に印加する電界方向は、前記電気光学フォトニック結晶の電気光学定数の大きい方向と同一の方向であることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載の光偏向素子。

【請求項 6】 外部から入射させる光の入射方向が前記電気光学フォトニック結晶の分散面の法線方向以外の方向であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の光偏向素子。

【請求項 7】 請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載の光偏向素子と、フォ

トニック結晶導波路を備えてなり、該フォトニック結晶導波路は特定波長の光に対しフォトニックバンドギャップを有し、かつ前記特定波長の光を透過する導波路を有するものであることを特徴とする光スイッチ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、電気光学フォトニック結晶を用いた光偏向素子及び光スイッチに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

光の波長程度の屈折率変化周期構造を持つ物質はフォトニック結晶として知られており、その中ではその周期に対応する波長の光の存在が禁止される光に対する禁止帯、いわゆるフォトニックバンドギャップが現れ、特定の波長域の光の存在と伝搬が不可能となる。このことからフォトニック結晶は光を自由自在に制御できる可能性があるとして、次世代のエレクトロニクス、オプトエレクトロニクス材料として注目されている。

このフォトニック結晶という新しい概念は、1987年に初めてS. JohnとE. Yablonovitchにより理論的に提唱されたものであり、実験的には現在種々の手法が研究されている状況にある。

【0003】

3次元周期構造のフォトニック結晶を作製する手法としては、半導体素子、デバイス作製のための微細加工技術、積層技術などの方法が研究されており、光の波長程度の大きさの粒子を構造単位としてこれを2次元的あるいは3次元的に積み上げて製造する方法が研究されている。

【0004】

本発明者はこの種のフォトニック結晶について研究を行っており、2次元周期構造あるいは3次元周期構造のフォトニック結晶に対して本発明者が発見した工夫を施すことによって従来では知見されていない全く新しいタイプのフォトニック結晶を知見した結果なされた光偏向素子と光スイッチの発明である。

なお、従来の光スイッチの一種としては、 $\text{LiNbO}_3$  に代表される電気光学効果を用いた光変調器が一般に知られている（例えば、特許文献 1 参照）

【0005】

【特許文献 1】

特開 2002-196296 号公報

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

近年急速に普及する光通信システムに用いられる光スイッチに要求される特性としては、小型で、スイッチング時間が短いことが強く求められる。

しかし、従来の光変調器では、位相のシフター長が電気光学定数で決定されるため、デバイスサイズが数 cm 程度になってしまうという問題があった。

【0007】

本発明は前記事情に鑑みてなされたもので、外部から入射させた光の屈折角を高速度で変更して光の透過する向きを変えることができ、しかも小型化が可能な光偏向素子の提供を目的の一つとする。

また、本発明は、上記光偏向素子を備え、特定波長の伝搬光が通過する方向を高速度で切り替えでき、しかも小型化が可能な光スイッチを提供することを目的の一つとする。

【0008】

【課題を解決するための手段】

本発明の光偏向素子は、印加する電界を制御して材料の屈折率を変化させることにより外部から入射させた光に対する屈折角を制御可能で、上記材料の単位屈折率変化に対する上記屈折角の変化が  $10^3$  度以上、好ましくは  $10^4$  度以上である電気光学フォトリック結晶から構成されたことを特徴とする。

【0009】

本発明の光偏向素子は、電気光学フォトリック結晶の分散面の強い異方性により屈折角が敏感に変化するスーパープリズム効果を利用しており、上記電気光学フォトリック結晶に印加する電界の大きさを変更することで、上記電気光学フォトリック結晶を構成する材料の屈折率を変更できるので、外部から入射させた光

に対する屈折角度を変更できる。従って、電気光学フォトニック結晶に印加する電界を制御することで、外部からこの電気光学フォトニック結晶に入射させた光の屈折角を制御でき、この電気光学フォトニック結晶から出射される光の方向を制御できる。

また、上記電気光学フォトニック結晶に外部から入射させた光の屈折角は、電気光学フォトニック結晶に印加する電界の変更に対して高速応答で変更できる。

また、上記電気光学フォトニック結晶は小型化できるので、小型の光偏向素子を実現できる。

#### 【0010】

また、本発明の光偏向素子においては、上記電気光学フォトニック結晶は、誘電率を電界で制御できる誘電率電界変化型物質（第1の誘電率電界変化型物質）である第1の誘電体部材と、前記第1の誘電体部材とは誘電率が異なる第2の誘電体部材とからなり、前記第1あるいは第2のどちらか一方の誘電体部材が複数相互に離間して周期的に配置され、他方の誘電体部材が前記周期的な配置の間隙部に設けられており、前記第1の誘電体部材は  $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、 $\text{BaTiO}_3$ 、 $\text{GaAs}$ 、 $\text{ZnO}$ 、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$  のうちから選択される1種からなることを特徴とする。

かかる構成の光偏向素子では、上記電気光学フォトニック結晶に印加する電界の大きさを変更すると、上記第1の誘電体部材の屈折率が変わるので、外部から入射させた光に対する屈折角度が変更される。

上記第1の誘電体部材は、印加する電界の大きさを変化させると屈折率の大きさが変化する電気光学特性を示す材料から構成されている。

上記第2の誘電体部材に用いる材料としては、空気等が用いられる。

#### 【0011】

また、本発明の光偏向素子においては、前記第1の誘電体部材中に前記第2の誘電体部材としての空気の存在する領域が複数相互に離間して周期的に配置されたものであってもよい。

また、本発明の光偏向素子においては、前記第1の誘電体部材は複数相互に離間して周期的に配置されたものであり、前記周期的な配置の間隙部に前記第2の

誘電体部材としての空気の存在する領域が設けられたものであってもよい。

#### 【0012】

また、上記のいずれかの構成の本発明の光偏向素子においては、上記電気光学フォトニック結晶に印加する電界方向は、上記電気光学フォトニック結晶の電気光学定数の大きい方向と同一の方向であることが好ましく、さらに好ましくは上記第1の誘電体部材を構成する結晶の電気光学定数の大きい方向であることが望ましい。例えば、 $\text{LiNbO}_3$ の結晶の場合、 $c$ 軸方向に電界を印加するのが好ましい。また、形状的には電気光学フォトニック結晶の厚さの薄い方向に電界を印加するのが好ましい。

#### 【0013】

さらに、上記のいずれかの構成の本発明の光偏向素子においては、外部から入射させる光の入射方向が上記電気光学フォトニック結晶の分散面の法線方向以外の方向、言い換えれば、上記電気光学フォトニック結晶の分散面に対して垂直方向以外の方向であることを特徴とする。

外部から入射させる光の入射方向が上記電気光学フォトニック結晶の分散面の法線方向であると、電気光学フォトニック結晶に入射した光が屈折しないで透過してしまうため、屈折角変化が得られない。

#### 【0014】

また、上記のいずれかの構成の本発明の光偏向素子においては、上記電気光学フォトニック結晶に電界を印加するための電極が備えられていてもよい。

また、上記のいずれかの構成の本発明の光偏向素子においては、上記電気光学フォトニック結晶に直流又は交流電界を印加でき、印加する電圧（電界）の大きさを変更できる可変電源装置が備えられていてもよい。

さらにまた、上記のいずれかの構成の本発明の光偏向素子においては、上記電気光学フォトニック結晶に光を導入する手段が備えられていてもよい。

#### 【0015】

また、本発明の光スイッチは、上記のいずれかの構成の本発明の光偏向素子と、フォトニック結晶導波路を備えてなり、該フォトニック結晶導波路は特定波長の光に対しフォトニックバンドギャップを有し、かつ上記特定波長の光を透過す



る導波路を有するものであることを特徴とする。

本発明の光スイッチにおいて、上記光偏向素子を構成する電気光学フォトニック結晶に外部から入射させる光としては、上記フォトニックバンドギャップにより存在が禁止される波長帯域の光が用いられる。

#### 【0016】

かかる構成の光スイッチによれば、光偏向素子を構成する電気光学フォトニック結晶に印加する電界の大きさが変更されると、この電気光学フォトニック結晶に入射させた特定波長光の屈折角度が変わり、この電気光学フォトニック結晶から出射される特定波長光（出射光）の出射方向が変わるので、この出射光は上記フォトニック結晶導波路に設けられた導波路のうち上記特定波長光の出射方向に存在する導波路（上記特定波長光の屈折角度に対応する導波路）を通して伝搬するので、上記特定波長の伝搬光が通過する方向を高速度で切り替えできる。また、上記電気光学フォトニック結晶だけでなく、上記フォトニック結晶導波路も小型化できるので、小型の光スイッチを実現できる。

#### 【0017】

本発明の光スイッチに備えられるフォトニック結晶導波路は、誘電率を電界で制御できる第2の誘電率電界変化型物質である第3の誘電体部材と、前記第3の誘電体部材とは誘電率が異なる第4の誘電体部材とからなり、前記第3あるいは第4のどちらか一方の誘電体部材が複数相互に離間して周期的に配置されて周期構造部（第2の周期構造部）が設けられ、他方の誘電体部材が前記周期的な配置の間隙部に設けられており、また、前記周期構造部の少なくとも一部が略された領域が設けられ、該領域が導波路とされ、該導波路は上記光偏向素子に入射した光の屈折角度に対応して複数設けられたものであってもよい。上記周期構造部は、特定波長の光に対しフォトニックバンドギャップを有している。

#### 【0018】

フォトニック結晶中において、前記第3あるいは第4のどちらか一方の誘電体部材が複数相互に離間して周期的に配置された周期構造部の一部を略することで略した部分に相当する欠陥部分を導入することができ、この欠陥部分によりフォトニックバンドギャップ中に局在状態が出現、光がトラップされる。この欠陥部

分を連続的につなげることにより、欠陥部分に添って光を導くことが可能となり、上記周期構造部を略した部分に添って導波路として機能させることができる。従って、導波路に添って光を導くことが可能なフォトニック結晶導波路を提供できる。

#### 【0019】

このような導波路を上記光偏向素子に入射した特定波長光の屈折角度に対応して複数設けておくことで、電気光学フォトニック結晶に印加する電界の大きさが変更されて、この電気光学フォトニック結晶に入射させた特定波長光の屈折角度が変わり、電気光学フォトニック結晶から出射される特定波長光（出射光）の出射方向が変わると、この出射光は上記フォトニック結晶導波路に設けられた導波路のうち上記特定波長光の屈折角度に対応した導波路を透過（通過）して伝搬するので、上記特定波長の伝搬光が出射される方向を高速度で切り替えることができる。

#### 【0020】

上記フォトニック結晶導波路に用いられる第3の誘電体部材に用いる材料としては、Si、GaP、GaAs、InP、ZnTe、Ge、LiNbO<sub>3</sub>、LiTaO<sub>3</sub>、BaTiO<sub>3</sub>、ZnO、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>のうちから選択される1種を用いてもよい。

これらの材料から第3の誘電体部材13を構成することで、高い誘電率と、高い屈折率を利用することができる。

#### 【0021】

上記フォトニック結晶導波路に用いられる第4の誘電体部材に用いる材料としては、空気、液晶等のうちから選択される1種が用いられる。

#### 【0022】

上記フォトニック結晶導波路においては、上記周期構造部に用いられた上記誘電体部材の配列周期は、特定の光の波長の数分の1に相当する周期とされていることが好ましく、周期、その格子形状、誘電体部材屈折率、形状などを適切に設計することでフォトニックバンドギャップを制御することができる。

#### 【0023】

**【発明の実施の形態】**

次に図面を用いて本発明の実施の形態を詳細に説明する。

なお、本発明は以下に説明する実施の形態に限定されるものではないことは勿論であるとともに、以下の図面においては各構成部分の縮尺について図面に表記することが容易となるように構成部分毎に縮尺を変えて記載している。

図1は、本発明に係る実施形態の光スイッチの概略構成を示す平面図であり、図2は実施形態の光スイッチを示す断面図である。

この実施形態の光スイッチは、本発明の実施形態の光偏向素子Aと、フォトニック結晶導波路Bとを具備して構成されている。

**【0024】**

光偏向素子Aは、電気光学フォトニック結晶の波数ベクトル面（分散面）の強い異方性により屈折角が敏感に変化するスーパープリズム効果を利用したものである。

この光偏向素子Aは、ほぼ平行に対向して離間配置された導電性の基板1、2と、これらの基板1、2の周縁部間に介在されて基板1、2間の間隙を取り囲む透明のシール材5と、これら基板1、2の間に光の波長の数分の1程度の周期で立設された複数の円柱状の柱状体（第1の誘電体部材）3と、これら柱状体3の周囲であって基板1、2とシール材5とに囲まれた空間部に充填された空気（第2の誘電体部材）6とを備えてなる電気光学フォトニック結晶から構成されたものである。すなわち、この電気光学フォトニック結晶は、複数の柱状体3が複数相互に離間して周期的に配置され、この周期的な配置の間隙部に空気6の存在する領域が設けられている。

**【0025】**

また、透明のシール材5の外部には所望の波長の光を発光自在なレーザ発光装置等の光源4が電気光学フォトニック結晶とは別個に設置され、この光源4から特定波長の光L（例えば波長1550nmの光、又は1310nmの光）を上記電気光学フォトニック結晶を構成する基板1、2間の間隙に透明のシール材5を介して入射できるように構成されている。

本実施形態の光スイッチにおいては、電気光学フォトニック結晶に外部から入

射させる光Lとしては、フォトニック結晶導波路Bが有するフォトニックバンドギャップにより存在が禁止される波長帯域の光が用いられる。本実施形態の光スイッチに伝搬させる特定波長の光Lが例えば波長1550nmの光である場合のフォトニックバンドギャップは100nm程度(1.45 $\mu$ m~1.55 $\mu$ m)である。

#### 【0026】

基板1、2はイオンドーピングした導電性の高いLiNbO<sub>3</sub>等の高誘電体材料(第1の高誘電体材料)から構成され、これらの基板1、2の対向側の面にはLiNbO<sub>3</sub>基板の表面酸化処理等で形成された酸化層7、8が形成されている。なお、基板1、2の構成材料は、誘電率を電界で制御できる誘電率電界変化型物質(第1の誘電率変化型物質)で、印加する電界が変更されることにより屈折率が変わる電気光学特性を示す材料(電気光学材料ということもある)であれば良いので、LiNbO<sub>3</sub>(通常の状態、言い換えれば電界無印加時の屈折率nが2.2)の他にLiTaO<sub>3</sub>、BaTiO<sub>3</sub>、GaAs、ZnO、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>等から構成しても良い。

#### 【0027】

LiNbO<sub>3</sub>の置き換え材料として使用できるこれらの材料の屈折率は、LiTaO<sub>3</sub>=2.2、BaTiO<sub>3</sub>=2.4、GaAs=3.4、ZnO=2.0、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>=1.5、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>=1.5(ここでの屈折率はいずれも通常の状態、言い換えれば電界無印加時の値である。)となり、いずれの材料も高誘電率であり、しかも、印加する電界が変更されることにより屈折率が変わる電気光学特性を示すことができるものである。

#### 【0028】

また、上記電気光学フォトニック結晶は、印加電界の大きさを変化させたときに外部から入射させた光の屈折角が敏感に変化できるものであればよいので、バンドギャップは有していてもよいし、有していなくてもよく、また、柱状体(第1の誘電体部材)3の屈折率と第2の誘電体部材6の屈折率の差は小さくても良い。

#### 【0029】

上記第2の誘電体部材6としては、第1の誘電体部材3とは誘電率が異なるものであればよいので空気の他に液晶から構成してもよい。空気は、通常の状態（電界無印加時）でも電界印加時でも屈折率が1である。液晶は、電界印加時と電界が無印加時とでは誘電率の差が空気よりも顕著であるので、具体的に誘電率が2～3のネマチック液晶を用いることができ、このネマチック液晶において、通常1.53の屈折率を有するものに対して1MV/cm程度の電界強度を印加すると屈折率を1.6とすることができる。

#### 【0030】

第1の誘電体部材である柱状体3…は、基板1、2のうちのどちらか一方をエッチング等の手段で蝕刻して形成されたもので、本実施の形態においては先の光源4から発光される特定の光Lの波長の数分の1程度の間隔で複数形成されてこれら複数の柱状体3…の集合により周期構造部（第1の周期構造部）3Aが構成されている。

隣接する柱状体3の中心どうしの間隔 $P_1$ は上記特定の光Lの波長 $\lambda$ の数分の1（ $0.2\lambda \sim 0.8\lambda$ ）程度、円柱状の柱状体3の径 $D_1$ は特定の光Lの波長 $\lambda$ の数分の1（ $0.2\lambda \sim 0.8\lambda$ ）程度とされ、さらに具体的には波長1550nmの光を用いる場合、例えば隣接する柱状体3の中心どうしの間隔 $P_1$ を $0.3\mu m \sim 1.1\mu m$ の範囲、円柱状の柱状体3の径 $D_1$ を $0.14\mu m \sim 0.5\mu m$ の範囲で選択することができる。

#### 【0031】

また、上記第1の高誘電体部材3を構成する第1の高誘電体材料としてのGaAsは半導体材料として使用されるものであり、イオンドーピング等の手段によって導電性を付与可能であるので、この電気光学フォトニック結晶に電界を印加するための電極としての利用も可能となる。第1の高誘電体部材3を構成する第1の高誘電体材料としてLiNbO<sub>3</sub>等を用いた場合には、上記基板1、2の外側面にそれぞれ電極が設けられ、この電極が電気光学フォトニック結晶に電界を印加するための電極としての利用される。

基板1、2には、接続線9A、9Bを介して可変電源装置10が接続され、接続線9Bに組み込まれたスイッチ装置10aをオン（入）することにより基板1

、2に通電して基板1、2間の複数の柱状体3に基板1、2から交流（電界）を印加できるように、あるいは、スイッチ装置10aをオフ（切）することで交流を印加（電界印加）を停止できるように構成されている。また、可変電源装置10は、基板11、12に印加する電圧（電界）の大きさを変更できるように構成されている。

### 【0032】

下記式（1）は本実施形態の光偏向素子Aの特性に係わる式である。

$$\begin{aligned}\Delta \theta_r &= (\partial \theta_r / \partial n) \Delta n \\ &= (\partial \theta_r / \partial n) \times (1/2) \times \gamma_{33} n^3 E \quad \dots (1)\end{aligned}$$

（式中、nは電気光学材料の屈折率（本実施形態では第1の誘電体部材3の屈折率）、 $\theta_r$ は電気光学フォトリック結晶に外部から入射させた光に対する屈折角、 $\gamma_{33}$ は電気光学定数（ポッケルス定数）、Eは電気光学材料（本実施形態では第1の誘電体部材3の屈折率）に印加する電界強度、 $(1/2) \times \gamma_{33} n^3 E$ は電気光学効果による屈折率変化を示す。）

### 【0033】

本実施形態の光偏向素子Aは、上記電気光学フォトリック結晶から構成したことより、印加する電界の大きさが変更されると複数の円柱状の柱状体（第1の誘電体部材）3の屈折率が変化し、その結果として電気光学フォトリック結晶全体の屈折率も変化することになるので、この電気光学フォトリック結晶に外部から入射させた光Lに対する屈折角 $\theta_r$ を変更でき、第1の誘電体部材3の屈折率nの変化に対する上記屈折角 $\theta_r$ の変化が $10^3$ 度以上、好ましくは $10^4$ 度以上、すなわち $\partial \theta_r / \partial n$ が $10^4$ 度以上、好ましくは $10^4$ 度以上を示すことができるものである。

### 【0034】

$\partial \theta_r / \partial n$ が $10^3$ 度未満であると、デバイスサイズが1cm程度以上となり、好ましくない。

$\text{LiNbO}_3$ の場合 $10\text{V}/1\mu\text{m}$ の電界を印加すると第1の誘電体部材3の屈折率が $10^{-3}$ 変わるので、この電気光学フォトリック結晶に入射させた光の屈折角が1度変わり、印加する電圧が2Vでは電気光学フォトリック結晶に入射

させた光の屈折角が2度変わるので、この電気光学フォトニック結晶から出射される位置が $\mu\text{m}$ オーダー（ $17\mu\text{m}$ 程度）かわるため、電気光学フォトニック結晶から出る光の位置を十分に離すことができ、しかも電気光学フォトニック結晶から出射される光の方向を変更できる。

#### 【0035】

本実施形態の電気光学フォトニック結晶に印加する電界方向は、上記電気光学フォトニック結晶の電気光学定数の大きい方向と同一の方向であることが電界を効率良く印加できる点で好ましく、さらに好ましくは上記第1の誘電体部材3を構成する結晶の電気光学定数の大きい方向であることが望ましい。例えば、第1の誘電体部材3が $\text{LiNbO}_3$ の結晶から構成されている場合、この結晶のc軸方向に電界を印加するのが好ましい。

また、形状的には電気光学フォトニック結晶の厚さの薄い方向に電界を印加するのが好ましい。

#### 【0036】

本実施形態の電気光学フォトニック結晶に外部から入射させる光Lの入射方向としては、上記電気光学フォトニック結晶の分散面（波数ベクトル面）の法線方向以外の方向、言い換えれば、上記電気光学フォトニック結晶の分散面に対して垂直方向以外の方向であり、例えば、光Lの入射方向は分散面（波数ベクトル面）の法線方向から数度傾けた方向である。

上記電気光学フォトニック結晶に入射させる光の入射方向が上記電気光学フォトニック結晶の分散面の法線方向であると、電気光学フォトニック結晶に入射した光が屈折しないで透過してしまうため、屈折角変化が得られない。

#### 【0037】

本実施形態の光偏向素子Aに動作について例を挙げて説明する。

光偏向素子Aに電界を印加しない場合、第1の誘電体部材3の屈折率は通常の屈折率のままであり、図1に示すようにこの電界無印加状態の電気光学フォトニック結晶に光源4から特定波長の光Lを入射すると、この光Lは通常の屈折角度で屈折し、この通常の屈折角度で屈折した光 $L_1$ はフォトニック結晶導波路Bに出射される。

光偏向素子Aに電界を印加した場合、第1の誘電体部材3の屈折率は通常の屈折率と異なる屈折率を示すようになり、図1に示すように電界印加状態の電気光学フォトニック結晶に光源4から特定波長の光Lを入射すると、この光Lは通常の屈折角度と異なる屈折角度で屈折し、この通常の屈折角度と異なる屈折角度で屈折した光L<sub>2</sub>はフォトニック結晶導波路Bに出射される。なお、この場合上記光L<sub>1</sub>と上記光L<sub>2</sub>の屈折角度の差が $\Delta\theta_r$ となり、電界を印加した時と電界を印加しない時の第1の誘電体部材3（電気光学材料）の屈折率の差が $\Delta n$ となる。

従って、電界印加時に電気光学フォトニック結晶から出る光の位置と、電界無印加時に電気光学フォトニック結晶から出る光の位置の距離Pが十分であり、しかも電気光学フォトニック結晶から出射される光の方向を変更できる。

#### 【0038】

本実施形態の光偏向素子Aによれば、電気光学フォトニック結晶に印加する電界を制御することで、外部からこの電気光学フォトニック結晶に入射させた光の屈折角を制御でき、この電気光学フォトニック結晶から出射される光の方向を制御できる。また、上記電気光学フォトニック結晶に外部から入射させた光の屈折角は、電気光学フォトニック結晶に印加する電界の変更に対して高速応答で変更できる。また、上記電気光学フォトニック結晶は小型化できるので、小型の光偏向素子を実現できる。

#### 【0039】

フォトニック結晶導波路Bは、特定波長の光Lに対しフォトニックバンドギャップを有するものである。

このフォトニック結晶導波路Bは、ほぼ平行に対向して離間配置された導電性の基板11、12と、これらの基板11、12の周縁部間に介在されて基板11、12間の間隙を取り囲む透明のシール材15と、これら基板11、12の間に光の波長の数分の1程度の周期で立設された複数の円柱状の柱状体（第3の誘電体部材）13と、これら柱状体13の周囲であって基板11、12とシール材15とに囲まれた空間部に充填された第4の誘電体部材16としての空気（屈折率nが1）と、基板11、12の間に設けられた複数の導波路22とを具備して構



成されている。即ち、このフォトリック結晶導波路Bは、第3の誘電体部材13が複数相互に離間して周期的に配置されて周期構造部（第2の周期構造部）13Aが設けられ、この周期的な配置の間隙部に空気16の存在する領域が設けられており、また、第2の周期構造部13Aの一部が略されてこの略された領域が設けられ、該領域が導波路22とされたものである。

#### 【0040】

上記基板11、12はSi等の高誘電体材料（第2の高誘電体材料）から構成され、これらの基板11、12の対向側の面にはSi基板の表面酸化処理等で形成された酸化層17、18が形成されている。なお、基板11、12の構成材料は、高誘電体材料であれば良いので、Si（屈折率 $n$ が3.5）の他にGaP、GaAs、InP、ZnTe、Ge、LiNbO<sub>3</sub>、LiTaO<sub>3</sub>、BaTiO<sub>3</sub>、ZnO、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>等の導電性を備えた第2の高誘電体材料から構成しても良い。

Siの置き換え材料として使用できるこれらの材料の屈折率は、GaP=3.45、GaAs=3.4、InP=3.29、ZnTe=9.61、Ge=4.1、LiNbO<sub>3</sub>=2.2、LiTaO<sub>3</sub>=2.2、BaTiO<sub>3</sub>=2.4、ZnO=2.0、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>=1.5、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>=1.5となり、いずれの材料も高誘電率を示している。また、このフォトリック結晶導波路Bでは、誘電率を電界で制御できる第2の誘電率電界変化型物質である柱状体（第3の誘電体部材）13の屈折率と第4の誘電体部材16の屈折率の差が大きい方がバンドギャップを広くできる点で好ましいため、第4の誘電体部材16に用いる材料としては、屈折率が3程度以上を示すものを用いるのが好ましい。

#### 【0041】

上記第3の誘電体部材である柱状体13…は、基板11、12のうちのどちらか一方をエッチング等の手段で蝕刻して形成されたもので、本実施の形態においては先の光源4から発光される特定の光の波長の数分の1程度の間隔で複数形成されてこれら複数の柱状体13…の集合により周期構造部（第2の周期構造部）13Aが構成されている。

本実施の形態において特定波長の光を用いてこの波長の光の透過（通過）と不

通を制御しようとする場合、隣接する柱状体 13 の中心どうし間隔  $P_2$  は上記特定の光の波長  $\lambda$  の数分の 1 ( $0.2\lambda \sim 0.8\lambda$ ) 程度、円柱状の柱状体 3 の径  $D_2$  は上記特定の光の波長  $\lambda$  の数分の 1 ( $0.2\lambda \sim 0.8\lambda$ ) 程度とされ、さらに具体的には波長 1550 nm の光を用いてこの波長の光の透過（通過）と不通を制御しようとする場合、例えば隣接する柱状体 13 の中心どうし間隔  $P_2$  を  $0.3\mu\text{m} \sim 1.1\mu\text{m}$  の範囲、円柱状の柱状体 13 の径  $D_2$  を  $0.14\mu\text{m} \sim 0.5\mu\text{m}$  の範囲で選択することができる。

#### 【0042】

上記第 4 の誘電体部材 16 としては、空気の他に液晶を用いてもよい。上記液晶としては例えば誘電率が 2 ～ 3 のネマチック液晶を用いることができる。

#### 【0043】

また、このフォトニック結晶導波路 B では、図 1 に示すように第 2 の周期構造部 13 A において複数の柱状体 13 … の一部が直線状に省略された領域が設けられており、言い換えれば、フォトニック結晶導波路 B の光偏向素子 A の設置側からこの光偏向素子 A の設置側と反対側にかけて複数の柱状体 13 … の一部が省略された領域が複数設けられて、複数の導波路 22 … (本実施形態では二本の導波路) が形成されている。

これら複数の導波路 22 … は、光偏向素子 A に外部から入射した特定波長の光 L の屈折角度に対応して設けられており、言い換えれば、光偏向素子 A から出射される特定波長の光の出射方向に対応して設けられている。一方の導波路 22 a は、電界無印加状態の光偏向素子 A に外部から特定波長の光 L を入射したときの特定波長光の屈折角度に対応して (電界無印加状態の光偏向素子 A から出射される特定波長の光  $L_1$  に対応して) 設けられており、他方の導波路 22 b は電界印加状態の光偏向素子 A に外部から特定波長の光を入射したときの特定波長の光 L の屈折角度に対応して (電界印加状態の光偏向素子 A から出射される特定波長の光  $L_2$  に対応して) 設けられている。

#### 【0044】

図 1 に示す光スイッチでは、例えば波長 1550 nm の特定の光 L をフォトニック結晶導波路 B に入射させる (ここで光 L を入射させる部分は周期構造部 13

Aに欠陥を導入した部分以外である）と、複数の柱状体13…が形成する周期構造部13Aと、これら柱状体間の間隙に充填された空気16とからフォトニック結晶が構成されているので、このフォトニック結晶は光に対するフォトニックバンドギャップを生成する。ここで光のフォトニックバンドギャップとは、特定振動数の光が伝搬できない振動数領域を示す。

フォトニック結晶導波路Bに入射させる特定の光Lの波長が1550nmである場合、フォトニックバンドギャップは1450nm～1550nm（0.86eV～0.8eV）となるので、柱状体13…を周期的に配置した周期構造部13Aが存在する部分は1450nm～1550nmの範囲の波長の光を反射して透過させない。

#### 【0045】

これに対して柱状体13を略した導波路22の部分に波長1550nmの特定の光Lを入射させると、導波路22の部分は光の通過可能であり、また、この導波路22から外れた領域では光が存在し得ないので、導波路22に沿って光は透過（通過）することとなる。すなわち、周期構造部13Aにおいて複数の柱状体13の一部を略した構造においては、周期構造部13Aに欠陥を導入したことと等価となり、この欠陥部分においてはフォトニックバンドギャップの影響を受けることがない。

#### 【0046】

本実施形態の光スイッチの動作について例を挙げて説明する。

光源4から電界無印加状態の光偏向素子Aに特定波長の光Lを入射すると、この光Lは通常の屈折角度で屈折し、この通常の屈折角度で屈折した光L<sub>1</sub>はフォトニック結晶導波路Bに出射され、この光L<sub>1</sub>は導波路22aに沿って透過し、フォトニック結晶導波路Bの導出側（光偏向素子A側と反対側）から導出される。

光源4から電界印加状態の光偏向素子Aに特定波長の光Lを入射すると、この光Lは通常の屈折角度とは $\Delta\theta_r$ だけ異なる屈折角度で屈折し、この通常の屈折角度と異なる屈折角度で屈折した光L<sub>2</sub>はフォトニック結晶導波路Bに出射され、この光L<sub>2</sub>は導波路22bに沿って透過し、フォトニック結晶導波路Bの導出

側（光偏向素子A側と反対側）で、上記光 $L_1$ が導出された位置と異なる位置から導出される。

なお、導波路22の途中において導波路22から光が外れようとしても、導波路22の周囲に存在する複数の柱状体13からなる周期構造部13Aが光を反射するので光は確実に導波路22に添って伝搬され、フォトリソ結晶導波路Bの導出側（光偏向素子A側と反対側）に確実に導出される。

#### 【0047】

図1に示す光スイッチに備えられるフォトリソ結晶導波路Bを製造するには、例えば、一方側のSiからなる基板11に対し、この基板11の表面を酸化処理して表面酸化層17を形成する。次に、例えば図3に示すように基板11の表面酸化層17を形成した側の面の周縁部に添って環状に透明のシール材15を配置する。

また、他方側のSiからなる基板2に対し、化学的エッチング、あるいは、イオンビームエッチング等の物理的エッチング手段を用いて基板2の表面を蝕刻して図4に示すような多数の柱状体（第3の誘電体部材）13…を基板12の表面上に形成し、また、周期構造部13Aに欠陥を設ける部分には柱状体は形成しないことで導波路22を形成する。

#### 【0048】

化学的なエッチングを行うには、基板12の表面にレジストを塗布し、それに露光装置等で柱状体の周期構造に対応するように露光して描画し、描画部分のみのレジストを現像液で溶かし取り、多数の穴部をあけ、これらの穴部を利用してエッチング液に浸漬する化学的なエッチングを行えば良い。物理的なエッチングを行うには、Si基板をSF<sub>6</sub>プラズマ等でエッチングして蝕刻し、複数の柱状体13…を形成する方法で行うことができる。

#### 【0049】

また、これらの方法の他に高く切り立った円柱状の柱状体を形成する方法として、以下の方法を採用しても良い。

まず、Siウエハ上に電子ビーム露光に感応性を有する例えばPMMA（ポリメチルメタクリレート）等のレジストを塗布し、それに電子ビームで周期構造を

描画し、電子ビーム描画部分のPMMAを現像液で溶かし取り、窓をあけ、厚さ1 nm程度の鉄の原子を蒸着し、その後にPMMAレジストをリフトオフにより除去する。これにより、基板表面で鉄原子が凝集し、電子ビームで描画して窓あけした部分のみに鉄のクラスタを形成できる。次にこれをSF<sub>6</sub>ガスのプラズマでエッチングし、試料温度やガス圧等のエッチング条件を選定すると、鉄のクラスタの周辺部分のみがエッチングされずに残り、大きさの揃ったSiの柱状体を多数加工することができる。この時に鉄のクラスタはそれ自身がエッチングマスクとして機能するのではなく、プラズマからS<sub>x</sub>F<sub>x</sub>などの反応生成物を凝縮し、大きさの揃ったエッチングマスクを形成する核としての機能を奏する。このように鉄のクラスタはエッチング耐性の高いマスクを形成する能力があり、この機能を利用することで大きさの揃ったSiの円柱を加工することができる。

この方法により例えば、直径40 nmで高さ1 μmのSiの柱状体を270 nm程度の間隔で平面視正方格子の頂点位置あるいは三角格子の頂点位置に多数配列した周期構造部を確実に作製することができる。

図1に示す光スイッチに備えられる光偏向素子Aの製造方法は、周期構造部に欠陥を設けず、二枚の基板の材料として上記の第1の高誘電体材料を用いる以外は上述したフォトニック結晶導波路Bの製造方法と同様にして製造することができる。

### 【0050】

以上のことから本実施形態の光スイッチでは、光偏向素子Aに入射した特定波長の光Lの屈折角度に対応する導波路22をフォトニック結晶導波路Bに予め複数設けておけば、電気光学フォトニック結晶に印加する電界の大きさが変更されて、この電気光学フォトニック結晶に入射させた特定波長の光Lの屈折角度が変わり、電気光学フォトニック結晶から出射される特定波長の光（出射光）の出射方向が変わると、この出射光は上記フォトニック結晶導波路Bに設けられた複数の導波路22のうち上記特定波長光の屈折角度に対応した導波路22を透過（通過）して伝搬するので、上記特定波長の伝搬光が出射される方向を高速度で切り替えることができ、例えば、切り替え速度をμsec以上とすることができる。また、光偏向素子Aを構成する電気光学フォトニック結晶だけでなく、上記フォ

トニック結晶導波路Bも小型化できるので、小型の光スイッチを実現でき、例えば、光スイッチのサイズを数mm程度とすることができる。

#### 【0051】

なお、上記のような背景から、シール材5やシール材15において光が入射される部分は少なくとも透光性好ましくは透明である必要があり、また、光が出射される部分は透光性好ましくは透明である必要がある。このような背景から、シール材5とシール材15は全体が透明であることが好ましい。

#### 【0052】

また、図1に示す構造の電気光学フォトニック結晶にあつては複数の柱状体3のみを上記第1の高誘電率体材料から形成すれば良いので、基板1、2の全体を上記第1の高誘電率体材料で形成する必要はなく、基板1、2を高誘電率ではない他の一般的な基板材料で形成し、柱状体3…のみを上記第1の高誘電率体材料から形成しても良いのは勿論であり、また、フォトニック結晶導波路Bについても基板11、12を高誘電率ではない他の一般的な基板材料で形成し、柱状体13…のみを上記第2の高誘電率体材料から形成しても良いのは勿論である。

#### 【0053】

また、図1に示す構造の電気光学フォトニック結晶にあつては基板1、2の空気6側の面に金属電極や透明電極層層などの電極層を別途形成し、この電極層から周期構造部3Aに電界を印加できる構成とするならば目的を達成することができるので、イオンドープした $\text{LiNbO}_3$ 基板等の導電体で基板1、2を形成する必然性はない。従って、基板1、2を高誘電率体材料ではない絶縁体で形成し、絶縁体基板の対向面側にITO（インジウム錫酸化物）層、金属電極層などの電極層を別途形成し、絶縁体基板間に第1の高誘電率体材料からなる複数の柱状体3を配置した構造を採用することも可能である。

#### 【0054】

ところで、本実施の形態においては電気光学フォトニック結晶やフォトニック結晶導波路に備えられる周期構造部が高誘電率体材料製の柱状体の集合体から構成されているので、2次元的な周期構造部とされているが、周期構造部は3次元的な構造とされていても差し支えない。例えば、単純な柱状体を配列したのみの

構造ではなく、柱状体を井桁状に組み上げた 3 次元立体構造の周期構造部からなる構成でも良い。また、ここでの 3 次元立体構造は、枝分かれ立体形状や網目立体構造あるいは不定形誘電体部材の組み上げ立体形状など種々の立体形状で差し支えない。

#### 【0055】

なお、上記実施形態においては、光偏向素子 A を構成する電気光学フォトニク結晶では、第 1 の周期構造部 3 A を第 1 の誘電体部材 3 を複数相互に離間した構成とし、第 1 の誘電体部材 3 の周囲であって基板 1、2 とシール材 5 とで囲まれた空間部に第 2 の誘電体部材 6 を充填した場合について説明したが、基板 1、2 とシール材 5 とで囲まれた領域に上記第 1 の誘電体部材からなる本体部を形成し、この本体部に穴部を複数相互に間隔を開けて周期的に形成し、これら穴部に上記第 2 の誘電体部材を充填して第 1 の周期構造部が形成された構成としてもよい。

また、フォトニク結晶導波路 B を構成するフォトニク結晶では、第 2 の周期構造部 13 A を第 3 の誘電体部材 13 を複数相互に離間した構成とし、第 3 の誘電体部材 13 の周囲であって基板 11、12 とシール材 15 とに囲まれた空間部に第 4 の誘電体部材 16 を充填した場合について説明したが、基板 1、2 とシール材 5 とで囲まれた領域に上記第 3 の誘電体部材からなる本体部を形成し、この本体部に穴部を複数相互に間隔を開けて周期的に形成し、これら穴部に上記第 4 の誘電体部材を充填して第 2 の周期構造部が形成された構成としてもよい。

#### 【0056】

##### 【発明の効果】

以上説明したように本発明の光偏向素子によれば、外部から入射させた光の屈折角を高速度で変更して光の透過する向きを変えることができ、しかも小型化が可能な光偏向素子を実現できる。

また、本発明の光スイッチによれば、上記光偏向素子と上記フォトニク結晶導波路を備えたことにより、特定波長の伝搬光が通過する方向を高速度で切り替えでき、しかも小型化が可能な光スイッチを実現できる。

##### 【図面の簡単な説明】

【図 1】 図 1 は本発明に係る第 1 の実施の形態の光スイッチの概略構成を示す平面図。

【図 2】 図 2 は図 1 に示す第 1 の実施形態の光スイッチの概略構成を示す断面図。

【図 3】 図 3 は図 1 に示す光スイッチに備えられたフォトニック結晶導波路を構成する一方の基板の分解斜視図。

【図 4】 図 4 は図 1 に示す光スイッチに備えられたフォトニック結晶導波路を構成する他方の基板の分解斜視図。

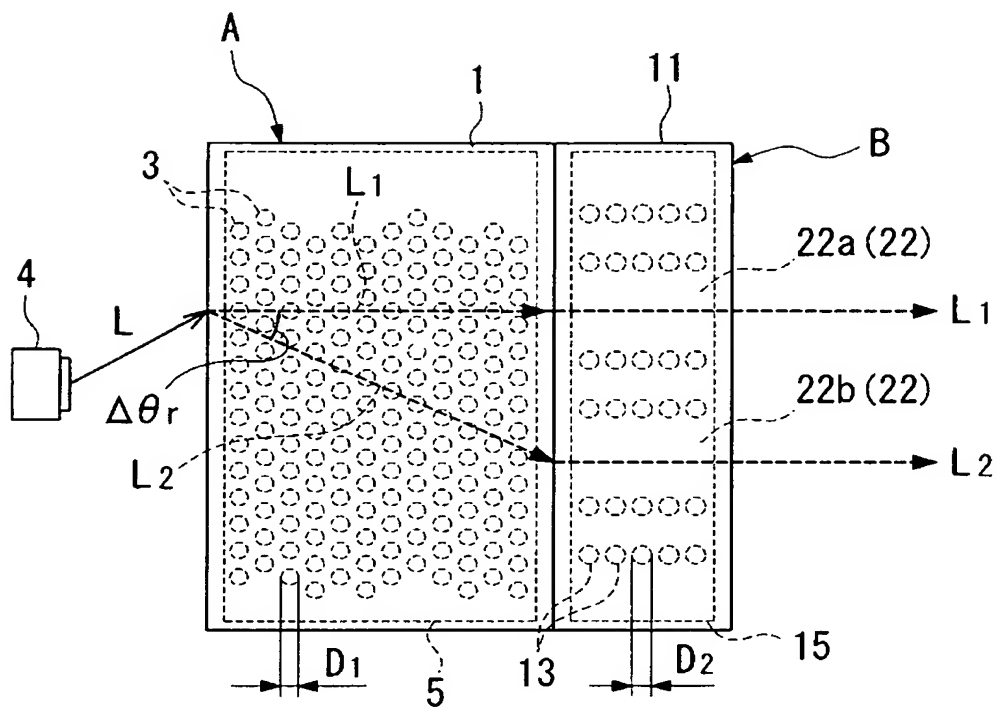
【符号の説明】

A…光偏向素子、B…フォトニック結晶導波路、L…特定波長の光、1、2…基板（電極）、3…柱状体（第 1 の誘電体部材）、3 A…周期構造部（第 1 の周期構造部）、4…光源、5、15…シール材、6…空気（第 2 の誘電体部材）、7…酸化層、8…酸化層、9 A…接続線、9 B…接続線、10…可変電源装置、10 a…スイッチ装置、11、12…基板、13…柱状体（第 3 の誘電体部材）、13 A…周期構造部（第 2 の周期構造部）、16…空気（第 4 の誘電体部材）、17…酸化層、18…酸化層、22…導波路。

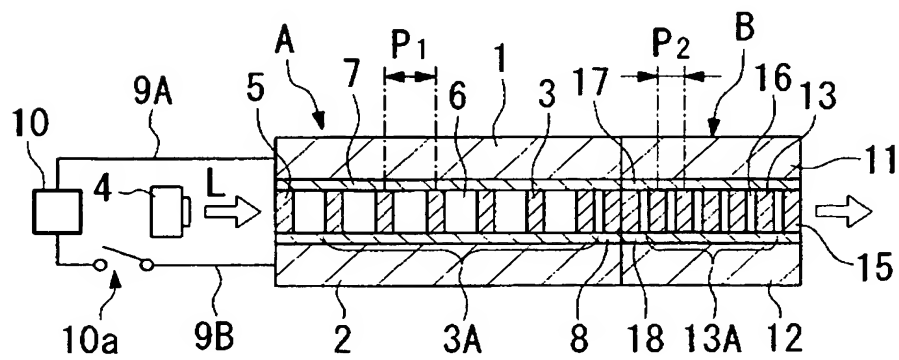


【書類名】 図面

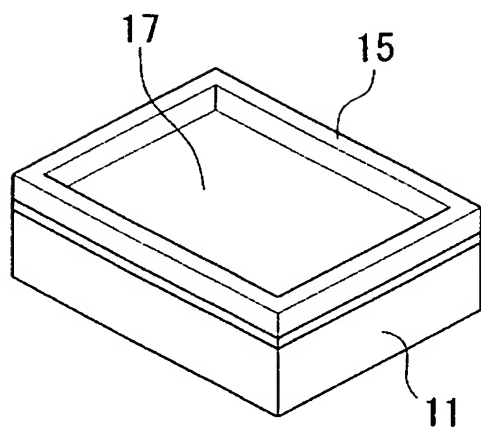
【図 1】



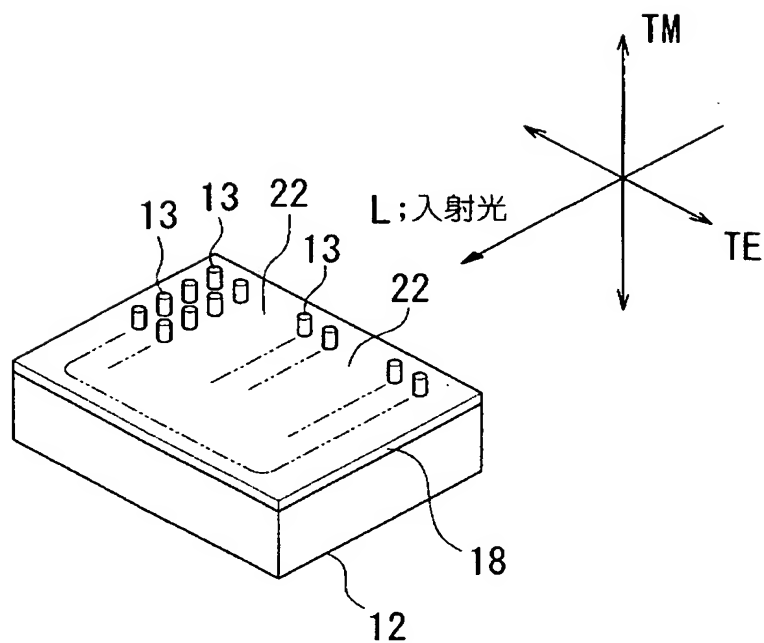
【図 2】



【図 3】



【図 4】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 外部から入射させた光の屈折角を高速度で変更して光の透過する向きを変えることができ、しかも小型化が可能な光偏向素子の提供を目的とする。また、このような光偏向素子を備え、特定波長の伝搬光が通過する方向を高速度で切り替えでき、しかも小型化が可能な光スイッチの提供を目的とする。

【解決手段】 印加する電界を制御して材料の屈折率を変化させることにより外部から入射させた光 L に対する屈折角を制御可能で、上記材料の屈折率変化に対する上記屈折角の変化が  $10^3$  度以上である電気光学フォトニック結晶から構成された光偏向素子 A。特定波長の光 L に対しフォトニックバンドギャップを有し、かつ特定波長の光 L を透過する導波路 2 2 を複数有するフォトニック結晶導波路 B と、光偏向素子 A が備えられてなる光スイッチ。

【選択図】 図 1

## 認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 3 - 0 4 7 1 4 0
受付番号	5 0 3 0 0 2 9 9 4 7 1
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0 0 9 0
作成日	平成 1 5 年 2 月 2 6 日

## &lt; 認定情報・付加情報 &gt;

## 【特許出願人】

【識別番号】	000010098
【住所又は居所】	東京都大田区雪谷大塚町 1 番 7 号
【氏名又は名称】	アルプス電気株式会社

## 【代理人】

申請人

【識別番号】	100064908
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場 3 丁目 2 3 番 3 号 O R ビ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	志賀 正武

## 【選任した代理人】

【識別番号】	100108578
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場 3 丁目 2 3 番 3 号 O R ビ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	高橋 詔男

## 【選任した代理人】

【識別番号】	100089037
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場 3 丁目 2 3 番 3 号 O R ビ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	渡邊 隆

## 【選任した代理人】

【識別番号】	100101465
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場 3 丁目 2 3 番 3 号 O R ビ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	青山 正和

## 【選任した代理人】

【識別番号】	100094400
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場 3 丁目 2 3 番 3 号 O R ビ ル 志賀国際特許事務所

次頁有

## 認定・付加情報（続き）

【氏名又は名称】	鈴木 三義
【選任した代理人】	
【識別番号】	100107836
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場 3 丁目 2 3 番 3 号 O R ビ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	西 和哉
【選任した代理人】	
【識別番号】	100108453
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場 3 丁目 2 3 番 3 号 O R ビ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	村山 靖彦

次頁無

特願 2 0 0 3 - 0 4 7 1 4 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 1 0 0 9 8 ]

1 . 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 7 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都大田区雪谷大塚町 1 番 7 号

氏 名

アルプス電気株式会社